昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, August 2013, 56(8): 896 -906 ISSN 0454-6296

中国昆虫区系的多元相似性聚类分析和地理区划

申效诚[1,2]，刘新涛[1]，任应党[1]，申 琪[3]，刘晓光[1]，张书杰[2]
（1. 河南省农业科学院植物保护研究所，郑州 450002；2. 郑州大学生物工程系，郑州 450001；
3. 河南中医学院第一临床医学院，郑州 450000）

摘要：为了总结分析中国昆虫的分布规律，为昆虫地理区划提出依据，作者2008年创建了新的多元相似性聚类分析方法，它与传统的聚类分析方法的主要不同是直接计算任意多个地区之间的相似性系数，从而摈弃原来的合并环节。我们应用这种方法对中国823科17 018属93 662种昆虫的分布进行了定量分析。当种级水平相似性系数分别为0.19和0.14时，全国64个基础地理单元聚类为20个小单元群和9个大单元群。根据聚类分析结果，提出我国第一个由定量分析产生的9个昆虫区20个昆虫亚区的中国昆虫地理区划的初步方案。西北昆虫区、东北昆虫区、华北昆虫区、青藏昆虫区稳定地组成中国北方昆虫大区，江淮昆虫区、华中昆虫区、西南昆虫区、华东昆虫区、华南昆虫区稳定地组成中国南方昆虫大区。江淮昆虫区的设立是因为这里多平原和丘陵，为重要农业区，昆虫区系简单，种类显著少于华东、华中、华南昆虫区，而和华北昆虫区相当；包括台湾在内的华东昆虫区是昆虫多样性最丰富地区之一，显著高于邻近的华北、江淮、华南昆虫区。最后，对昆虫地理定量分析中的重要环节进行讨论，还对今后昆虫区系调查的薄弱地区提出建议。这项研究证明多元相似性聚类分析方法是简便、快捷、实用的，能够在更广泛的范围应用，这预示着生物地理学研究将会由定性研究进入到定量研究阶段。

关键词：昆虫；区系；分布；动物地理学；地理区划；多元相似性聚类分析；中国
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)08-0896-11

The multivariate similarity clustering analysis and geographical division of insect fauna in China

SHEN Xiao-Cheng[1,2], LIU Xin-Tao[1], REN Ying-Dang[1], SHEN Qi[3], LIU Xiao-Guang[1], ZHANG Shu-Jie[2] (1. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Department of Biological Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. First Clinical College, Henan College of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to analyze the insect distributional law in China and provide scientific basis of insect geographical division, in 2008 we created a new method, *i. e.*, the multivariate similarity clustering analysis (MSCA). The key difference of this method from traditional similarity clustering analysis methods is directly computing the similarity coefficient of multi-region and throwing away the old merged steps. By using the MSCA, distribution information of total 93 662 insect species belonging to 17 018 genera of 823 families in 64 basic geographical units (BGUs) of China was analyzed. The results showed that 9 large unit groups and 20 small unit groups are clustered by 64 BGUs when similarity levels are 0.14 and 0.19, respectively. First insect fauna geographical division plan of China was putted forward by quantitative analysis, in which the insect fauna of China is divided into 9 regions and 20 sub-regions. The 9 regions were named as Northwestern China, Northeastern China, Northern China, Qinghai-Xizang, Changjiang-Huaihe, Central China, Southwestern China, Eastern China and Southern China insect region. A northern large region was clustered by the preceding 4 regions and a southern large region by the others stably. Taiwan was clustered to East China, but not to South China, because its similarity degree with Fujian is closer than that with Guangdong, Guangxi or Hainan. Several important aspects in quantitative analysis on insect biogeography are discussed, and some suggestions about insect fauna investigation are given. This study proves that the MSCA method is very applicable, simple and quick, and can be used in a wider range. It is presaged that bio-geographical study will get from qualitative analysis into a quantitative stage.

基金项目：河南省重点实验室建设专项经费(112300413221)
作者简介：申效诚，男，1943年1月生，河南民权人，硕士，研究员，从事昆虫区系和昆虫地理研究，E-mail：shenxiaoc@126.com
收稿日期 Received：2013-02-05；接受日期 Accepted：2013-06-17

Key words：Insect；fauna；distribution；zoogeography；geographical division；multivariate similarity clustering analysis；China

生物地理学是生物学和地理学的交叉学科，主要研究生物的区系性质、分布规律和地理区划。我国生物地理学自20世纪50年代兴起以来，植物地理学和高等动物地理学都已取得重要进展（吴征镒等，2011；张荣祖，2011），六足动物总纲（包括原尾、弹尾、双尾、昆虫四纲，本文均泛称昆虫）作为动物界中最复杂的类群，其地理分布和地理区划自是生物地理的重要分支学科，对此马世骏先生作了出色的开创性工作（马世骏，1959），他论述了中国昆虫的4种区系成分，又根据当时已知农林害虫分布资料，提出了将中国陆地昆虫分为9区32省的区划方案，为我国昆虫地理学发展奠定了基础。但遗憾的是此后便很少有人继续深入研究下去，以至于至今一直处于起步阶段（易传辉和欧晓红，2002）。章士美先生等提出并为不少学者接受沿用的中国昆虫地理区划方案（方三阳，1993；章士美和赵泳祥，1996）其实是全面移植自高等动物的区划方案，即具有近4亿年进化历史的昆虫套用了不超过6 500万年的哺乳动物的地理区划，既没有足够的理论依据，又缺乏充足的事实支撑。昆虫地理研究长期裹足不前的原因，一是昆虫种类远比植物和高等动物繁多和复杂，很少有人能积累昆虫种类分布的全部或大部分资料；二是昆虫的分布状态大都是点状分布，传统的、定性的研究方法无能为力；三是定量研究方法没有获得关键性突破。虽然Jaccard（1901）提出的二元相似性系数公式计算两个地区间的亲疏关系已得到广泛的应用（张镱锂，1998），但以此为基础衍生出来的多种以逐区合并为共同特征的计算公式和分析方法进行多地区间的相似性分析，只能得到有偏差的，甚至是错误的结果（Cox and Moore，2005；申效诚等，2007；孙浩和任应党，2008），而且参与比较的地区越多，偏差越大。因此，截至目前还很少有成功的大地理区域、多地区参与的聚类分析报告。显然，缺少多元相似性系数的计算方法已成为制约生物地理学研究发展的瓶颈。

作者近年创建了多元相似性系数计算的通用公式，任意多个地区间的相似性系数都能够简便地直接计算（申效诚等，2007；申效诚和王爱萍，2008），从而摒弃了导致偏差或错误的逐区合并步骤，建立起简便的多元相似性聚类分析方法（multivariate similarity clustering analysis，MSCA）（申效诚等，2008，2010），可以得到既符合统计学逻辑，又符合生物学、地理学逻辑的结果。本文尝试以这种方法对典型点状分布状态的中国昆虫区系进行整理分析，以期为中国昆虫地理学的发展提供技术支撑和科学依据。

1　材料和方法

1.1　中国昆虫种类及分布资料

参与分析的昆虫分布资料包括《中国动物志》（昆虫纲1～54卷），《中国经济昆虫志》（1～55卷），《昆虫学报》、《昆虫分类学报》、《动物分类学报》、《武夷科学》等昆虫分类期刊，100多部类群志、地方志、专著、名录、科学考察报告，数千篇分类区系论文，以及我们多年的调查采集等。认真仔细剔除错误名，异名以及未定种、亚种和型，纳入本研究分析的种类共计4纲37目823科17 018属93 662种，约占中国昆虫全部种类的90%以上（表1）。这些种类在各省区的分布是不均匀的，从青海的3 528种到台湾的20 353种（表2）。

1.2　基础地理单元的划分

参照各省的地理区划或生物地理研究成果（张继祖，1993；张汉鹄，1995；陈常铭和宋慧英，1995；王保海等，2006），全国各省区共划分176个小区，按省份和省下小区，将分布资料录入数据库。对各省的昆虫分布进行多元相似性分析（表2），以确定省内各小区间的亲疏关系。在此基础上，根据全国地理条件和生态条件，确定基础地理单元。基础地理单元确定的依据是：相似性高，群内高于群外；生态地理条件相同或相似；设置数量适中，越多，精确度越高，相似性越低，越需要昆虫分布资料相匹配，资料不敷应用时，相似性优于精确度。本研究根据前期工作及上述原则，共确定64个基础地理单元（basic geographical unit，BGU），作为区系分析和地理区划的基础。

1.3　数据库的建立

用微软Access构建数据库，有分布记“1”，无分布不记。先将93 662个物种的行政区域分布资料录入，进行各省区的前期分析，待基础地理单元确定之后，再将行政区域记录转换为基础地理单元

分布纪录，并汇总17 018 个属和823 个科的分布信息，以便分别以科、属、种三级水平进行相似性分析或其他类型的分析。

各基础地理单元的昆虫种类见表3，从国家测绘局网站下载中国地理底图[审图号 GS(2008)1669]，画出各地理单元的地理范围(图1)。

表1 本研究的中国昆虫各类群数量

Table 1 The numbers of all insect groups in China in this study

类群 Group	科数 Families	属数 Genera	种数 Species	类群 Group	科数 Families	属数 Genera	种数 Species
原尾纲 Protura	9	39	185	啮虫目 Psocoptera	27	177	1 648
弹尾纲 Collembola	15	91	337	食毛目 Mallophaga	6	124	906
双尾纲 Diplura	6	24	44	虱目 Anoplura	11	22	97
石蛃目 Microcoryphia	1	6	24	缨翅目 Thysanoptera	4	164	570
衣鱼目 Zygentoma	2	8	9	半翅目 Hemiptera	127	2 803	11 973
蜉蝣目 Ephemeroptera	14	65	262	广翅目 Megaloptera	2	13	106
蜻蜓目 Odonata	19	172	781	蛇蛉目 Raphidioptera	2	6	14
襀翅目 Plecoptera	10	80	447	脉翅目 Neuroptera	14	148	768
蜚蠊目 Blattodea	6	82	366	鞘翅目 Coleoptera	154	3 910	23 643
等翅目 Isoptera	5	46	532	捻翅目 Strepsiptera	6	9	23
螳螂目 Mantodea	9	54	164	长翅目 Mecoptera	3	5	227
蛩蠊目 Grylloblattodea	1	2	2	双翅目 Diptera	99	2 020	15 404
革翅目 Dermaptera	8	61	264	蚤目 Siphonaptera	10	85	568
直翅目 Orthoptera	40	564	2 716	毛翅目 Trichoptera	25	142	927
竹节虫目 Phasmatodea	5	66	343	鳞翅目 Lepidoptera	94	3 848	17 786
纺足目 Embioptera	1	2	6	膜翅目 Hymenoptera	86	2 179	12 517
缺翅目 Zoraptera	1	1	3	合计 Total	823	17 018	93 662

表2 各省区的昆虫类群及其相似性系数

Table 2 The numbers of insect groups in all provinces and their similarity coefficient

省区 Provinces	目数 Orders	科数 Families	属数 Genera	种数 Species	供分析种数 Species for analysis	划分小区数 Small regions	相似性系数 Similarity coefficient
新疆 Xinjiang	26	329	2 510	6 928	3 730	12	0.116
内蒙古 Nei Mongol	28	394	3 200	7 920	5 727	14	0.157
宁夏 Ningxia	28	335	2 266	4 713	4 295	5	0.185
青海 Qinghai	21	276	1 702	3 528	1 862	7	0.098
西藏 Xizang	30	434	3 540	8 956	5 876	12	0.060
黑龙江 Heilongjiang	24	382	2 815	6 297	2 128	5	0.203
吉林 Jilin	28	392	2 771	5 860	3 325	3	0.312
辽宁 Liaoning	27	364	2 523	5 223	1 515	5	0.191
河北 Hebei	32	452	3 653	8 153	4 134	6	0.206
山西 Shanxi	26	341	2 358	4 677	2 675	7	0.246
山东 Shandong	29	354	2 376	4 335	2 141	5	0.318
陕西 Shaanxi	32	451	3 608	7 934	5 614	6	0.118
甘肃 Gansu	30	408	3 580	8 492	6 478	7	0.147
河南 Henan	33	444	3 798	8 422	7 461	11	0.186
安徽 Anhui	32	380	2 470	4 525	3 196	6	0.216
江苏 Jiangsu	34	426	2 959	5 662	1 969	3	0.219

续表 2 Table 2 continued

省区 Provinces	目数 Orders	科数 Families	属数 Genera	种数 Species	供分析种数 Species for analysis	划分小区数 Small regions	相似性系数 Similarity coefficients
湖北 Hubei	31	471	4 273	9 821	7 624	7	0.176
浙江 Zhejiang	34	548	5 157	12 211	8 779	6	0.207
福建 Fujian	35	557	5 738	14 522	9 715	7	0.164
台湾 Taiwan	33	618	7 638	20 352	20 352	1	–
江西 Jiangxi	32	448	4 013	8 504	5 912	7	0.268
湖南 Hunan	32	430	3 954	8 354	5 902	6	0.212
贵州 Guizhou	30	457	3 944	9 299	7 735	7	0.183
四川 Sichuan	31	526	5 851	17 487	10 425	6	0.156
云南 Yunnan	31	554	6 576	19 707	12 471	7	0.139
广东 Guangdong	33	525	4 879	11 195	3 982	3	0.121
广西 Guangxi	32	484	4 629	11 023	7 635	4	0.260
海南 Hainan	31	427	3 810	7 914	7 914	1	–
合计 Total	37	823	17 018	93 662	72 033	176	–

表 3 中国昆虫基础地理单元的地理范围和昆虫属种数量

Table 3 The geographical range and the numbers of insect genera and species of basic geographical units (BGUs) in China

基础地理单元 Basic geographical units	科数 Families	属数 Genera	种数 Species
01 阿尔泰山区 Mts. Altay Shan region	91	333	562
02 准噶尔盆地 Basin Junggar region	150	833	1 786
03 伊犁谷地 Valley Ili region	106	374	592
04 天山山地 Mts. Tuan Shan region	155	733	1 367
05 塔里木盆地 Basin Tarim region	130	473	852
06 吐鲁番盆地 Basin Turpan region	93	284	490
07 大兴安岭 Mts. Da Hinggan Ling region	247	1 224	2 274
08 呼伦贝尔高原 Plateau Hulun Buir region	213	892	1 483
09 锡林郭勒高原 Plateau Xilin Gol region	228	997	1 768
10 三江地区 Rivers Heilongjiang, Songhuajiang and Wusulijiang region	110	593	1 169
11 东北平原 Plain Dongbei region	313	1 953	3 796
12 长白山区 Mts. Changbai Shan region	265	1 820	3 744
13 坝上高原 Plateau Bashang region	254	1 351	2 255
14 晋察冀山区 Mts. Shanxi-Qahar-Hebei region	251	1 335	2 391
15 五台山区 Mts. Wutai Shan region	202	1 222	2 169
16 鄂尔多斯高原 Plateau Ordos region	284	1 402	2 589
17 贺兰山区 Mts. Helan Shan region	232	996	1 667
18 阿拉善高原 Plateau Alxa Region	243	1 252	2 308
19 华北平原 Plain Huabei region	327	1 994	3 563
20 山东半岛 Peninsula Shandong region	245	1 348	2 034
21 太行山区 Mts. Taihang region	238	1 531	2 501
22 晋中南地区 Central-Southern Shanxi region	178	1 073	1 851
23 陕中陇东 Central Shaanxi and Eastern Gansu region	284	1 669	2 819

续表 3 Table 3 continued

基础地理单元 Basic geographical units	科数 Families	属数 Genera	种数 Species
24 陇中地区 Central Gansu region	203	1 206	2 055
25 六盘山区 Mts. Liupan Shan region	270	1 620	3 148
26 祁连山区 Mts. Qilian Shan region	143	615	1 031
27 青海湖地区 Lake Qinghaihu region	222	1 035	1 711
28 青藏高原 Plateau Qingzang region	179	821	1 910
29 淮河平原 Plain Huaihe region	306	1 781	3 006
30 苏北平原 Plain Northern Jiangsu region	160	602	804
31 大别山区 Mts. Dabie Shan region	312	1 867	3 197
32 桐柏山区 Mts. Tongbai Shan region	229	1 151	1 744
33 宛襄盆地 Basin Nanyang and Xiangyang region	240	1 044	1 483
34 伏牛山区 Mts. Funiu Shan region	377	2 630	5 124
35 秦岭山区 Mts. Qinling region	383	2 555	5 030
36 大巴山区 Mts. Daba Shan region	385	2 857	5 780
37 陇南山区 Mts. Southern Gansu region	286	1 941	3 809
38 沪宁杭平原 Plain Shanghai-Nanjing-Hangzhou region	356	2 295	4 004
39 浙江山地 Mts. Zhejiang region	490	4 034	9 009
40 福建丘陵 Hills Fujian region	477	4 393	10 320
41 台湾地区 Taiwan region	617	7 638	20 352
42 鄱阳湖平原 Plain Boyanghu region	326	2 023	3 256
43 赣南丘陵 Hills Southern Jiangxi region	262	1 384	2 008
44 井冈山区 Mts. Jinggang Shan region	366	2 524	4 545
45 江汉平原 Plain Changjiang-Hanshui region	296	1 525	2 527
46 洞庭湖平原 Plain Dongtinghu region	210	992	1 394
47 湘中丘陵 Hills Central Hunan region	229	1 220	1 838
48 武陵山区 Mts. Wuling Shan region	436	4 054	9 455
49 雷公山区 Mts. Leigong Shan region	301	2 049	3 636
50 云贵高原 Plateau Yungui region	355	2 684	5 338
51 四川盆地 Basin Sichuan region	331	2 127	3 772
52 阿坝高原 Plateau Aba region	205	1 200	2 215
53 大凉山区 Mts. Daliang Shan region	208	1 299	2 256
54 甘孜山地 Mts. Ganzê region	288	2 376	5 657
55 丽江山地 Mts. Lijiang region	296	2 258	4 853
56 墨脱地区 Mêdog region	327	2 270	4 836
57 无量山区 Mts. Wuliang Shan region	298	2 076	3 942
58 西双版纳 Xishuangbanna region	324	2 589	5 633
59 桂西山地 Mts. Western Guangxi region	235	1 070	1 795
60 桂南山地 Mts. Southern Guangxi region	375	2 739	5 414
61 粤桂山地 Mts. Guangdong-Guangxi region	334	2 010	3 525
62 南岭山地 Mts. Nanling region	376	2 783	5 226
63 粤南平原 Plain Southern Guangdong region	251	1 313	2 194
64 海南 Hainan region	426	3 810	7 914

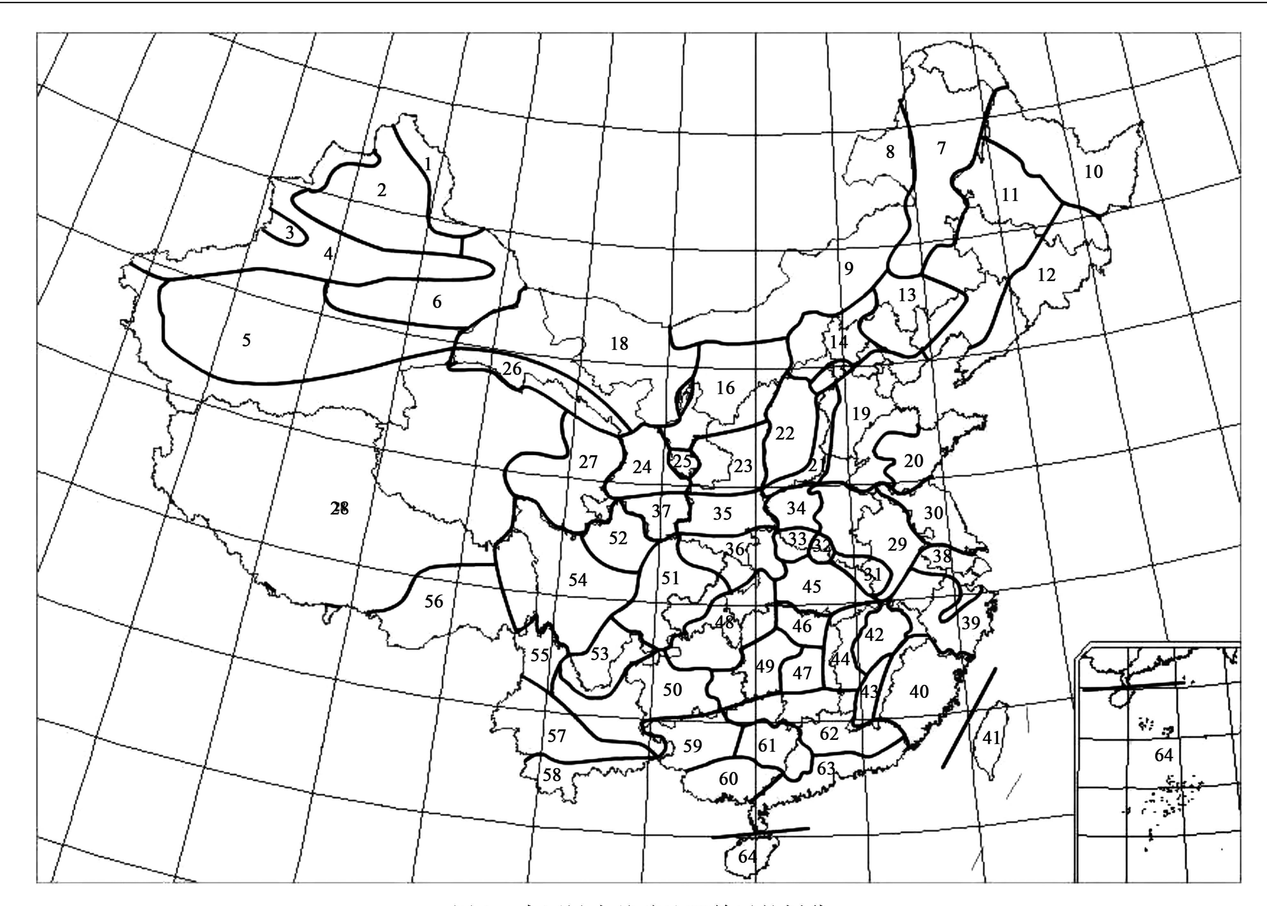


图 1　中国昆虫基础地理单元的划分

Fig. 1　Basic geographical units for insect distribution in China

图中地理单元代码同表 3；图 3 同。Codes of basic geographical units same as in Table 3. The same for Fig. 3.

1.4　多元相似性聚类分析

首先，用 Jaccard 的二元相似性系数计算公式算出两两单元间的相似性系数，从最大的相似性系数开始，用申效诚等(2008)的多元相似性公式，计算 3 个单元、多个单元、以至全部 64 个单元的相似性系数，做出支序图。

Jaccard 的公式是：$SI = C/(A + B - C)$ 。

式中，SI 是两地理单元间的相似性系数，A 和 B 分别是两单元的物种数，C 是两单元的共有物种数。

申效诚等(2008)的通用公式是：$SI_n = \sum H_i/nS_n = \sum(S_i - T_i)/nS_n$ 。

式中，SI_n 是 n 个地理单元间的相似性系数，S_i，H_i 和 T_i 分别是 i 地理单元的种类数、共有种类数、独有种类数，且满足 $H_i = S_i - T_i$，S_n 是 n 个地理单元的总种类数。因此，公式可表述为：多个地区的相似性系数是各自共有种类的平均数占总种类数的比例。

上述两个公式的不同在于全世界广泛应用的 Jaccard 的公式是本公式在 $n = 2$ 时的一个特例，后者可以代替前者，前者不可能代替后者。

计算多地区相似性系数所需参数均可从数据库查询表中得到。如要计算第 29－33 号 5 个地理单元的相似性，直接建查询表即可(图 2)。

从表 1 知，全国总种类数为 93 662 种，图 2 中第 1 行 88 256 种是 5 个地理单元都没有分布的种类，显然，这些单元的总种类数是 93 662－88 257＝5 405 种；从表 2 知 5 个单元的种类分别是：3 009，804，3 197，1 744，1 483，其和为 10 237；图 2 中各列第 1 个分布纪录的种类数是它们各自的独有种类数，分别是：1 133，145，1 198，294，169，其和为 2 939。5 个地理单元的相似性系数即是：$(10\ 237 - 2\ 939)/5/5\ 405 \approx 0.27$。

点图左上角的视图按钮，即可任意增加、减少、改变参与比较的单元。



0029	0030	0031	0032	0033	编号之计数
					88257
				1	169
			1		294
			1	1	23
		1			1198
		1		1	89
		1	1		357
		1	1	1	44
	1				145
	1			1	6
	1		1		5
	1	1			37
	1	1		1	9
	1	1	1		14
	1	1	1	1	6
1					1133
1				1	209
1			1		51
1			1	1	32

图 2 5 个地理单元昆虫分布的查询表

Fig. 2 The distribution inquiry table of insect species for 5 geographical units

2 结果与分析

2.1 种、属、科的聚类结果

种级阶元的聚类支序图分别为图 3。从图 3 看出，64 个地理单元先后聚合为不同的单元群，在相似性系数为 0.19 的水平上，共有 20 个小单元群；在相似性系数为 0.14 的水平上，又分别聚类为 9 个大单元群。检查这些大群和小群的组成单元，都是在地理上相邻，在生态条件上相对一致，虽处于边界的个别地理单元有待商榷以更臻于完美外，目前条件下这已符合地理学、生态学和数理统计的要求。全部地理单元的总相似性系数为 0.039，平均每种的分布域为 3.09 个地理单元。

属级、科级的聚类结果，9 个大单元群与种级相同，小单元群则逐渐模糊，也即随着分类阶元的提高，相似性程度提高，但分辨率及应用价值降低。

2.2 中国昆虫区系分区方案

中国昆虫分布区、分布亚区的划分依据是：MSCA 形成的、等距划分的、组成稳定的单元群；群内各单元地理上相邻相连；群内生态条件相对一致，群间差异显著；设置数量适中，能够显示和涵盖中国昆虫分布的地域特征和昆虫区系特征，便于

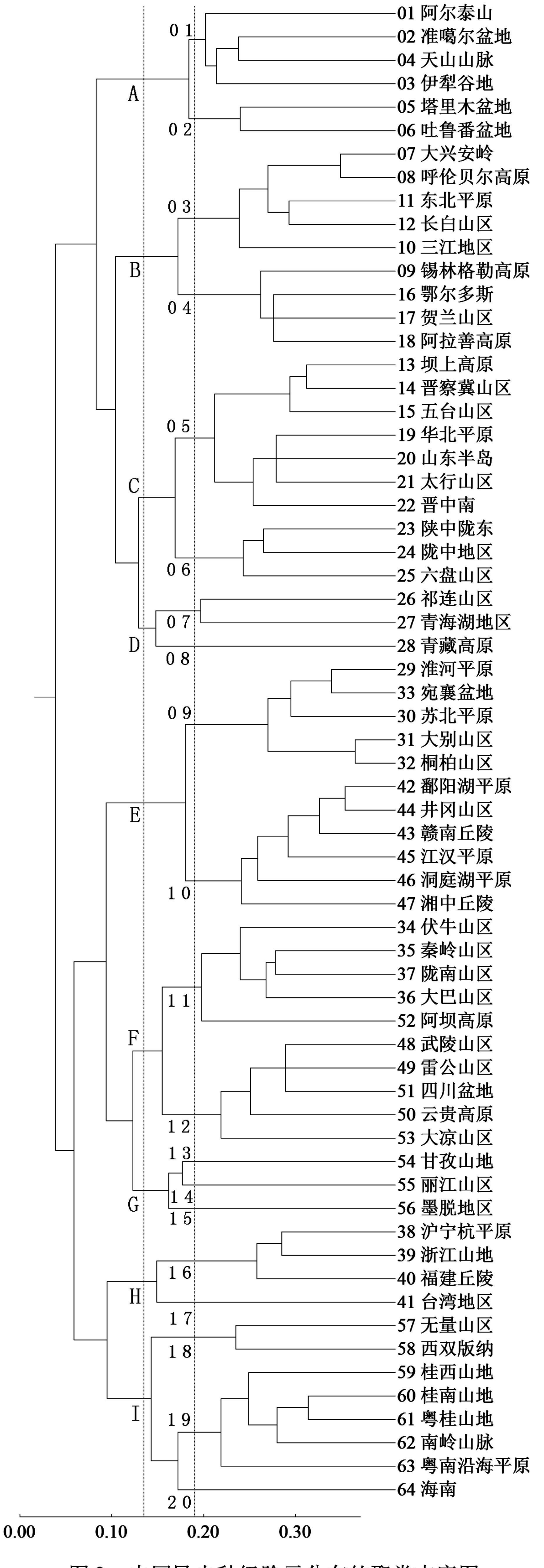


图 3 中国昆虫种级阶元分布的聚类支序图

Fig. 3 The MSCA tree for insect species in China

应用和管理；名称准确、通俗、易记，具有惟一性，不产生歧义。

根据以上依据和原则，提出中国昆虫地理区划分布区和分布亚区两级阶元的初步方案如下（图4）。各区、亚区的昆虫资源状况见表4。

3　结论和讨论

3.1　区、亚区结构的稳定性

9 区 20 亚区的中国国内昆虫地理区划意见仅是一个由定量方法得到的初步方案，只有通过广泛讨论修改得到普遍认可才具有实际意义。从目前材料看，这样的区级以下的区划结构是比较稳定的，因为我们在上述分析的同时，还分别进行了属、科级水平的 MSCA 分析，又对 19 目昆虫分别分析，还对与农林业有密切关系的农林昆虫、与人畜禽卫生有关的医学卫生昆虫、与生态环境有关的环境昆虫进行分析，还把分布记录随机舍弃 10% 和 20% 进行分析，还把昆虫种类依次舍弃 1 单元分布种类、2 单元分布种类、3 ~ 5 单元分布种类进行分析，还把

表 4　各昆虫区、昆虫亚区的昆虫种类

Table 4　Insect species in all regions and sub-regions

昆虫区 Insect regions	昆虫亚区 Insect sub-regions	目数 Orders	科数 Families	属数 Genera	种数 Species	组成单元 BGU included
A 西北 Northwestern China		22	211	1 363	3 287	1 – 6
	1 北疆 Northern Xinjiang	22	198	1 242	2 890	1 – 4
	2 南疆 Southern Xinjiang	11	142	559	1 082	5 – 6
B 东北 Northeastern China		31	420	3 797	9 954	7 – 12,16 – 18
	3 关东 Guandong	29	385	3 020	7 137	7, 8, 10 – 12
	4 内蒙古 Nei Mengol	25	351	2 257	5 029	9,16 – 18
C 华北 Northern China		33	446	4 357	11 048	13 – 15, 19 – 25
	5 冀晋鲁 Hebei, Shanxi and Shandong	32	417	3 625	8 232	13 – 15, 19 – 22
	6 黄土高原 Plateau Huangtu	32	350	2 677	5 663	23 – 25
D 青藏 Qinghai-Xizang		21	275	1 650	3 744	26 – 28
	7 青海湖 Lake Qinghaihu	18	242	1 275	2 291	26 – 27
	8 羌塘 Qiangtang	19	180	827	1 910	28
E 江淮 Changjiang-Huaihe		31	485	4 838	10 077	29 – 33, 42 – 47
	9 黄淮 Huanghe-Huaihe	30	384	2 808	5 404	29 – 33
	10 长江中游 Middle reaches of Changjiang River	30	448	3 766	7 871	42 – 47
F 华中 Central China		34	584	6 872	21 927	34 – 37, 48 – 53
	11 秦巴 Mts. Qinling and Daba Shan	33	518	4 983	13 442	34 – 37, 52
	12 云贵高原 Plateau Yungui	29	512	5 399	14 496	48 – 51, 53
G 西南 Southwestern China		30	410	4 096	12 104	54 – 56
	13 甘孜 Ganzê	29	288	2 385	5 657	54
	14 丽江 Lijiang	23	296	2 267	4 853	55
	15 墨脱 Mêdog	27	327	2 275	4 835	56
H 华东 Eastern China		35	701	9 917	32 010	38 – 41
	16 浙闽 Zhejiang-Fujian	34	565	5 969	16 118	38 – 40
	17 台湾 Taiwan	33	618	7 656	20 352	41
I 华南 Southern China		34	556	6 793	19 997	57 – 64
	18 滇南 Southern Yunnan	29	366	3 311	7 754	57 – 58
	19 粤桂 Guangdong-Guangxi	32	467	4 445	10 583	59 – 63
	20 海南 Hainan	31	427	3 860	7 914	64

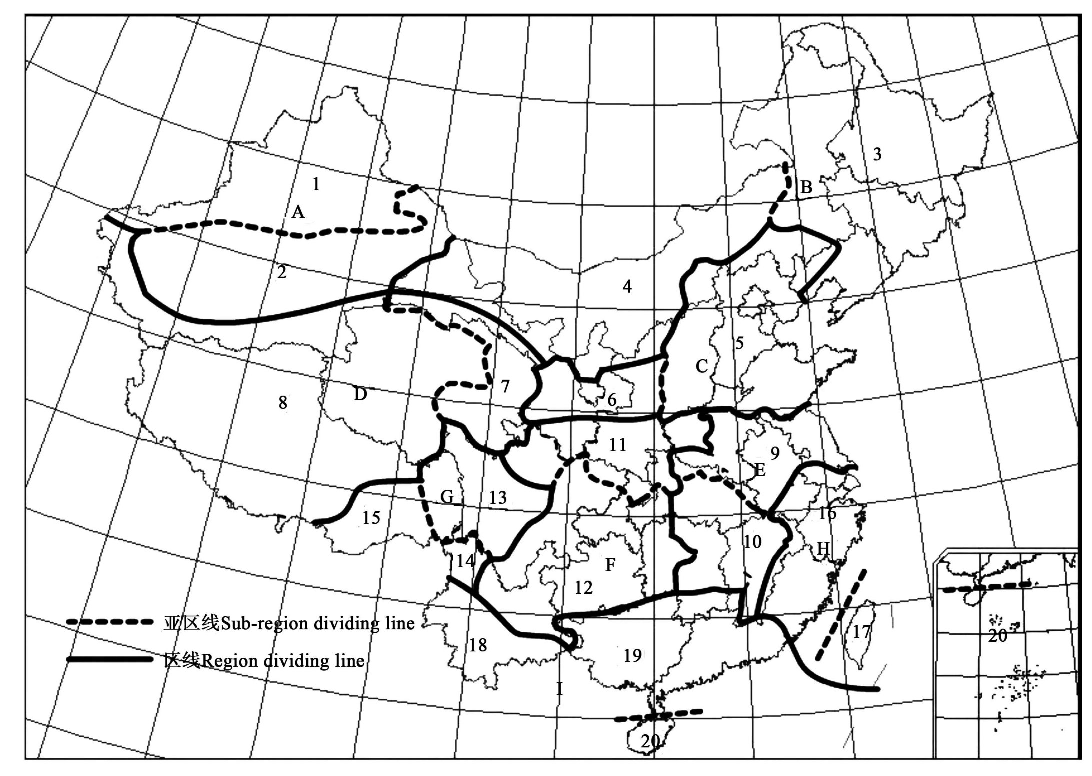


图 4 中国昆虫分布的地理区和亚区

Fig. 4 The regions and sub-regions for insect distribution in China

地理区和亚区代码同表 4。Codes for regions and sub-regions same as in Table 4.

种类分别 3 次按 10% 的规模随机抽样进行分析，共 30 多项次的全国种类分析结果，都不同程度表现出大、小单元群的稳定性，相当多的分析项次的类群组成与聚类关系与上述整体结果完全相同，特别是 3 次 10% 种类抽样，分析种类只有 9 300 多种，MSCA 结果和整体相比，不仅类群组成、聚类关系相同，总相似性系数和整体结果都是 0.039，划分大、小单元群的水平线以及平均种类分布域也相同或相近。

3.2 区以上结构的界定

9 个大单元群以上的聚类结果，除最高阶稳定外，其余阶次相对有所变化，即有些单元群会在与其相邻的单元群间，分别先行聚类，如华东区也会与江淮区先行聚类，江淮区也会与华中区先行聚合，青藏区也会与西北区接触。所有这些聚类表现将会为确定亚界、界提供依据，但具体界定，要放在世界昆虫的 MSCA 分析中考量，这样才能体现定量分析的严谨与其应有的功能。

3.3 基础地理单元的设立

基础地理单元的设立是定量分析的重要环节，人们常用行政区域法、栅格法和自然景观法来设立，前二种方法容易操作，但能否得到合理结果的风险很大；自然景观法风险不大，但操作较为费力。增多单元，一般能够提高聚类的精细度，但必须有相应的分布资料来支撑；撤并单元一般能够提高相似度，精细度会受损下降，但能避免资料缺乏的尴尬。每人都可以根据自己的材料，尝试设立自己的 BGU。设置合理与否，以能否得到尽量精细的聚类结果来衡量。本研究的 64 个单元不是最理想的设置，更不是唯一的设置，在东部，再撤并一些单元或拆分一些单元，都不会影响聚类结果，而西部没有这种宽容度。表 2 中青海、西藏两省区的总相似性系数为 0.098 和 0.060，为各省区中最低，它们的小区之间的昆虫种类及其相似性程度，与其他省区相比，更多地表现出考察和调查的深度和频度差异，而较少体现自然条件的差异。如青海黄河源头小区虽地处高原，但与青海湖小区、湖东小区的相似性系数为 0.156，而和其他高原小区为 0.092，和前者划为一个单元，精细度可能受损，但提高相似度能使整体分析得以实现；再如羌塘单元，是由 11 个小区逐渐连接扩大而成，否则，它们将会在各单元群形成之后，成为无法处理的地理碎片，使得精细度与相似度俱行丧失。因此本研究设置的 64 单元在东、西部的粗细差异，实际是对生物

资料和自然条件协调的结果。原本和谐统一的自然与生物的关系，出现如此必须妥协的局面，就在于人们对生物的探索认知程度，解决的办法就是进一步加强对西部地区的昆虫区系调查，增多各小区之间的共有种类。有学者提出将青藏高原昆虫独立设为“界”，但目前资料，连“区”级资格都需要协调。这就是定性和定量的区别所在。相对而言，定性分析是生态条件优先于生物条件，先尝试划定区域，再用生物数量去描述；定量分析是生物条件优先于生态条件，先考量生物的相似性关系，再划定区域。

3.4　昆虫分布基础资料

相对于青藏地区昆虫区系调查的薄弱程度，更大范围内的昆虫资料的零散或许是继分析方法之后的又一个限制因素。目前尚有1/3以上省份没有系统的昆虫名录，广东有11 000多种昆虫，但具体分布资料没有系统整理，原计划分为6个小区，只得改为3个。全国93 662种昆虫中，有21 629种没有省区级或省下分布记录，有42 460种只在1个单元分布，有10 024种只在2个单元分布，而分布在40个以上单元的只有165种。因此进一步深入开展昆虫区系调查和已有资料的系统整理尤有必要，如长白山地区、青藏高原、东疆地区以及安徽、山东等省的更深入的区系调查，昆虫资源丰富、又人才济济的省份以及东北等地的当地资源的整理与总结，我们都将翘首鹄望。这样将有可能使区划结构进一步完善或者局部调整，如长白山单元可能脱离东北昆虫区进入东亚亚界，南岭山脉单元可能会脱离华南昆虫区进入江淮昆虫区。

3.5　3个区划方案的比较

植物、动物、昆虫是生物科学领域的三大生物群体，吴征镒先生、张荣祖先生已对植物地理、动物地理倾毕生精力获得巨大成就，本研究只是用定量方法对昆虫地理开始探讨的起步尝试，没有资格望其项背。初步体会是，昆虫的分布地理虽多采用动物地理的命名方法，但实质可能更接近于植物地理，这可能与昆虫对植物的生存依赖性更强有关。但令人深思不解的是，对97种虱目昆虫、568种蚤目昆虫、6 628种医学卫生昆虫的分析结果没有趋近高等动物区划，也和昆虫的整体分析结果相同或相近，个中缘由有待以后继续探讨。昆虫聚类结果与动、植物显著不同的是江淮昆虫区、华东昆虫区的设立与台湾对华东区的归属，这可能是前辈更多地关注优势种、代表种、标志种、建群种的分布状态，而定量研究则更重视种类的相似性程度。如江淮昆虫区主要是平原和浅山丘陵，重要农业区，昆虫区系简单，特有性低，参与分析的种类不足10 000种，昆虫多样性显著低于华东、华南、华中昆虫区，只有定量分析才能度量出差异程度；华东昆虫区是我国昆虫多样性的突出高地，参与分析的种类有31 000多种，其特有性及相异性都居全国首位，台湾和华东的关系密切于华南，这也已为别的学者研究以证明(黄晓磊等，2004)。抛砖引玉的昆虫地理区划方案的分析实践证明了MSCA方法的简便、快捷与实用性，完全可以在更广泛的范围应用。这预示着生物地理学将会由定性研究进入一个定量分析的新阶段(刘新涛等，2013)。

3.6　昆虫区系性质

虽然世界上没有任何两种昆虫的分布是相同的，但的确有相当多的昆虫的分布是相似的，人们把分布相似类型加以归纳，产生了种类的区系性质和区域的区系成分的概念，马世骏(1959)提出中国昆虫的4种区系成分，杨星科(2005)提出判断昆虫区系性质的方法，可以解决中国95%以上昆虫的区系性质，可以拿来作为地理区划的佐证。但严格说来，昆虫的区系性质应该用昆虫地理区划的术语来标识，而昆虫既没有国内区划，又没有世界地理区划。因此本文只根据聚类结果提出初步意见，以求引玉。

3.7　岛屿效应

岛屿效应是生物地理的重要内容，我国岛屿有5 000多个。但大多是近海类型岛屿，昆虫区系与大陆有深厚的历史渊源，但也已表现出分化的独特性，台湾20 353种昆虫中有大陆没有分布的独有种类12 913种，占63.4%，海南岛7 914种昆虫中，独有种类2 522种，占31.9%，均高于大陆各个单元。我们将台湾、海南岛分别作为两个地理单元进行MSCA，它们的特异性已得到充分展现。中国的其它近海岛屿以及远海岛屿由于还没有开展充分调查，材料单薄，只能并入相应单元。

致谢　感谢在近5年研究过程中，中国农业科学院植物保护研究所郭予元院士、中国科学院西北分院杨星科研究员、中国科学院动物研究所黄大卫研究员、中国科学院地理研究所张镱锂研究员、南开大学卜文俊教授给予的指导与关注；感谢南开大学李后魂教授、中国农业大学杨定教授、彩万志教授、河北大学任国栋教授、中南林业大学魏美才教授、

广西省农业科学院曾涛研究员、中国科学院上海植物生理生态研究所卜云博士等业界同仁给予的帮助与鼓励，并无私提供文献资料。

参考文献（References）

Chen CM, Song HY, 1995. The geographical region of agricultural insects in Hunan province. *Journal of Hunan Agricultural College*, 21(3): 272 – 279. ［陈常铭，宋慧英，1995. 湖南省农业昆虫地理区划. 湖南农学院学报，21(3): 272 – 279］

Cox CB, Moore PD, 2005. Biogeography: an Ecological and Evolutionary Approach. 7th ed. Blackwell Publishing Ltd., Oxford.

Fang SY, 1993. The Geographical Distribution of Forestry Insects in China. Northeast Forestry University Press, Harbin. ［方三阳，1993. 中国森林害虫生态地理分布. 哈尔滨：东北林业大学出版社］

Huang XL, Feng L, Qiao GX, 2004. Similarity analysis and historical origin on aphid fauna in Taiwan and mainland of China. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 29(2): 194 – 201. ［黄晓磊，冯磊，乔格侠，2004. 台湾与大陆蚜虫区系的相似性分析和历史渊源. 动物分类学报，29(2): 194 – 201］

Jaccard P, 1901. Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 37: 241 – 272.

Liu XT, Liu XG, Shen Q, Zhang SJ, Yang DW, Ren YD, 2013. Comparison of merged and non-merged similarity clustering analysis methods. *Acta Ecologica Sinica*, 33(11): 3480 – 3487. ［刘新涛，刘晓光，申琪，张书杰，杨党伟，任应党，2013. 合并与不合并：两个相似性聚类分析方法的比较. 生态学报，33(11): 3480 – 3487］

Ma SJ, 1959. Insect Biogeography Division in China. Science Press, Beijing. ［马世骏，1959. 中国昆虫地理区划. 北京：科学出版社］

Shen XC, Ren YD, Wang AP, Zhang SJ, 2010. A multivariate similarity clustering analysis for geographical distribution of insects, spiders and mites in Henan province. *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4416 – 4426. ［申效诚，任应党，王爱萍，张书杰，2010. 河南昆虫、蜘蛛、蜱螨地理分布的多元相似性聚类分析. 生态学报，30(16): 4416 – 4426］

Shen XC, Sun H, Zhao HD, 2007. Species diversity and distribution patterns of Noctuidae (Lepidoptera) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 50(7): 709 – 719. ［申效诚，孙浩，赵华东，2007. 中国夜蛾科昆虫的物种多样性及分布格局的研究. 昆虫学报，50(7): 709 – 719］

Shen XC, Sun H, Zhao HD, 2008. A discussion about the method for multivariate similarity analysis of fauna. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 849 – 854. ［申效诚，孙浩，赵华东，2008. 昆虫区系多元相似性分析方法. 生态学报，28(2): 849 – 854］

Shen XC, Wang AP, 2008. A simple formula for multivariate similarity coefficient and its contribution rate in analysis of insect fauna. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (7): 67 – 69. ［申效诚，王爱萍，2008. 昆虫区系多元相似性的简便计算方法及其贡献率. 河南农业科学，(7): 67 – 69］

Sun H, Ren YD, 2008. Comparison of similarity clustering analysis of spiders in Henan. In: Shen XC, Zhang RZ, Ren YD eds. Classification and Distribution of Insects in China. China Agricultural Scientech Press, Beijing. 490 – 494. ［孙浩，任应党，2008. 河南蜘蛛的两种相似性聚类分析方法比较. 见：申效诚，张润志，任应党 主编. 昆虫分类与分布. 北京：中国农业科学技术出版社. 490 – 494］

Wang BH, Huang FS, Qin R, 2006. Xizang Insect Differentiation. Henan Science and Technology Press, Zhengzhou. 16 – 18. ［王保海，黄复生，覃荣，2006. 西藏昆虫分化. 郑州：河南科学技术出版社. 16 – 18］

Wu ZY, Sun H, Zhou ZK, Li DZ, Peng H, 2011. Floristics of Seed Plants from China. Science Press, Beijing. ［吴征镒，孙航，周浙昆，李德铢，彭华，2011. 中国种子植物区系地理. 北京：科学出版社］

Yang XK, 2005. Insect Fauna of Middle-west Qinling Range and South Mountains of Gansu Province. Science Press, Beijing. ［杨星科，2005. 秦岭西段及甘南地区昆虫. 北京：科学出版社］

Yi CH, Ou XH, 2002. Study advance of insect biogeography in China. In: Li DM, Kang L, Wu JW, *et al.* eds. Achievement and Development of Entomology. China Scientech Press, Beijing. 543 – 545. ［易传辉，欧晓红，2002. 我国昆虫生物地理学研究进展. 见：李典谟，康乐，吴钜文等 主编. 昆虫学创新与发展. 北京：中国科学技术出版社. 543 – 545］

Zhang HH, 1995. On the geographical regions of agricultural and forest insects in Anhui province. *Entomological Journal of East China*, 4(1): 13 – 18. ［张汉鹄，1995. 安徽农林昆虫地理区划探析. 华东昆虫学报，4(1): 13 – 18］

Zhang JZ, 1993. Geographical demarcation of agricultural and forestry insects in Fujian province. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 22(4): 439 – 444. ［张继祖，1993. 福建农业昆虫地理区划. 福建农学院学报，22(4): 439 – 444］

Zhang RZ, 2011. Zoological Geography in China. Science Press, Beijing. ［张荣祖，2011. 中国动物地理. 北京：科学出版社］

Zhang SM, Zhao YX, 1996. The Geographical Distribution of Agricultural and Forest Insects in China. China Agriculture Press, Beijing. ［章士美，赵泳祥，1996. 中国农林昆虫地理分布. 北京：中国农业出版社］

Zhang YL, 1998. Coefficient of similarity, an important parameter in floristic geography. *Geographical Research*, 17(4): 429 – 434. ［张镱锂，1998. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数. 地理研究，17(4): 429 – 434］

（责任编辑：袁德成）